LE SOL, LA PÉDOFAUNE ET LES APPLICATIONS DE PESTICIDES (*)

par

W. E. VAN DEN BRUEL (**)

Le sol constitue sans conteste le bien le plus précieux du cultivateur. Toute l'économie de l'exploitation dépend de ses qualités. Aussi aucun effort n'est-il épargné pour exalter sa productivité et toute action susceptible d'en influencer fâcheusement les propriétés à courte ou lointaine échéance est-elle appréhendée.

Ce n'est pas pour rien que le paysan est traditionnellement attaché à la terre qu'il cultive, qu'il connaît admirablement. Bien sûr, on tire parti aujourd'hui de sols artificiels, des techniques de l'aquiculture. Mais ces procédés ont leurs propres exigences, leurs propres limites d'utilisation ; ils ne peuvent prétendre rivaliser avec les moyens classiques pour approvisionner déjà le marché mondial.

Le cultivateur, quelle que soit sa spécialité, sait combien de travail, d'efforts, de précautions, la valorisation de ses terres a coûté, parfois depuis des générations. Il sait qu'il ne sème pas, ne plante pas, dans une simple couche de roches désagrégées mais bien dans un milieu lentement élaboré, éminemment complexe dans sa structure comme dans sa composition. Il sait qu'un des éléments fondamentaux de cette terre cultivable est l'humus, c'est-à-dire une matière organique d'origine végétale qui a subi des transformations profondes du fait de l'intervention d'une longue chaîne d'être vivants.

(*) Communication présentée le 25 février 1964 lors du Séminaire d'Horticulture Scientifique consacré à « La désinfection du sol en Horticulture», séminaire organisé par la Chaire d'Horticulture de l'Institut Agronomique de l'État, à Gembloux et la Station de Recherches de l'État pour l'Amélioration des Plantes fruitières et maraîchères à Grand Manil.

(**) Professeur extr. à l'Institut Agronomique de l'État à Gembloux, Directeur de la Station d'Entomologie de l'État de Gembloux.

ANNALES DE GEMBLOUX. 1964. **70** : 81-101.

Il sait aussi qu'une culture bien menée constitue un système en équilibre. Le prélèvement des produits marchands est compensé par des apports d'engrais appropriés tandis que les débris des plantes mortes sont réincorporés au sol, s'y désagrègent sous l'action de multiples organismes vivants et sont à la longue ramenés à l'état de substances assimilables par les plantes. Le cycle est ainsi fermé.

Le cultivateur se rend donc parfaitement compte que le sol dont il s'efforce de tirer le meilleur parti possible n'est pas quelque chose d'inerte mais bien un milieu riche en êtres vivants, susceptible d'être modifié dans un sens favorable ou défavorable par son intervention.

*
* *

La description du sol revient au spécialiste en pédologie. Nous ne nous occuperons ici que des pratiques phytosanitaires modernes et des conséquences de leur emploi pour ce qui concerne le sol cultivé.

Utilité de la faune du sol

La faune normale des terres arables est riche et variée. En bref, nous y trouvons des Vers, des Mollusques, des Myriapodes, des Insectes, des Acariens, des Nématodes, des Protozoaires, etc. Leur nombre (*) et parfois la biomasse qu'ils représentent sont surprenants.

Quel est leur rôle dans le cycle esquissé ci-dessus ?

L'état des connaissances est encore fort imprécis à ce sujet. Les recherches ont surtout porté sur les sols forestiers et d'autres milieux naturels. On sait que la mise en culture des terres entraîne une profonde modification de cette faune.

Un certain nombre de faits se dégagent toutefois, dont nous pouvons utilement tirer parti.

DISLOCATION DE LA MATIÈRE VIVANTE OU MORTE.

Il n'est pas contestable que la faune intervient énergiquement dans la mise en pièce du matériel végétal destiné à devenir de l'humus. L'In-

(*) A titre d'exemple, dans le cas des Nématodes, OOSTENBRINK (1954) a obtenu les valeurs suivantes pour une seule espèce vivant dans un sol où le maïs souffrait de sa présence : par 200 ml de terre, 3620 *Pratylenchus pratensis* DE MAN. Ceci représente près de 2.000.000 d'individus au m² pour une couche de terre de 10 cm de profondeur.

secte et le Myriapode rongent, creusent, réduisent en charpie les masses ligneuses dures comme les tissus tendres. Les Mollusques et certains Vers opèrent de même. Les micro-organismes sont étroitement associés à cette action au point que telle espèce de Collembole ou de Nématode n'intervient qu'en présence de la Bactérie ou du Cryptogame correspondant et que, inversément, la présence de la faune accélère considérablement la désorganisation de la litière de feuilles mortes par ces mêmes organismes.

EFFETS DE LA DIGESTION.

Le passage de la masse végétale par le tube digestif de l'animal ne transforme pas toujours considérablement la matière au point de vue chimique, mais il est démontré que la dislocation des tissus végétaux est, selon les espèces, plus ou moins avancée (DÜNGER 1958) (*). Les excrétas de ces animaux sont d'ailleurs recherchés par d'autres espèces animales, qui contribuent à leur tour à les modifier davantage.

Les pédologues attribuent une grande importance aux excrétas des espèces édaphiques. Ils constituent souvent des amalgames de terre et de matériaux organiques plus ou moins profondément altérés enveloppés d'une très fine membrane d'origine animale (la membrane péritrophique). Ils résistent de ce fait à la désagrégation rapide par l'eau. Ils vont subir sous l'action microbienne une évolution différente de celle des gros débris végétaux en cours de pourriture. C'est eux qui formeraient finalement l'humus étroitement mêlé aux éléments d'origine minérale, qui constitueraient ce milieu complexe mais stable, conférant au sol cultivable ses précieuses propriétés de rétention. Les débris pourrissants seraient, par contre, transformés jusqu'à la minéralisation complète et les produits dérivés disparaîtraient par diffusion.

Cependant, les cadavres de l'endofaune et l'activité des nombreuses espèces prédatrices vivant dans le sol interviennent encore d'une manière importante dans le cycle de transformation de la matière vivante.

Il faut y ajouter la masse d'organismes dont le séjour dans le sol est temporaire mais dont une proportion parfois importante y est la proie des prédateurs ou des agents pathogènes. Songeons au nombre d'espèces d'insectes qui se réfugient dans le sol pendant une période courte ou longue de leur existence, qui y passent parfois des mois exposés à la

(*) Certaines espèces de lombriciens se nourriraient peut-être essentiellement d'animaux inférieurs et même de bactéries proliférant sur les débris organiques en voie d'altération (VAN GANSEN 1963).

voracité des Formicides, des Carabides, des Staphylinides, des Elatérides et de bien d'autres entomophages.

Les animaux vivant dans le sol remplissent bien d'autres rôles encore. Ils se déplacent et, en même temps, tout en dispersant les germes microbiens, ils distribuent leurs excrétas au hasard de leurs parcours, fournissant en même temps aux organismes les plus divers un substrat spécial, paraissant particulièrement favorable à leur prolifération.

REMANIEMENT DU SOL.

Mais pour se déplacer, les animaux doivent trouver un passage. Ils sont fort bien armés pour le faire. Ils creusent le sol en tous sens. Certains, particulièrement vigoureux, accomplissent un travail de pionnier : ils ouvrent le sol, permettant la circulation de l'air et de l'eau et leurs galeries sont utilisées par la suite par les racines.

Si nous prenons le cas des lombriciens vivant dans une pâture en Angleterre nous y trouvons en période favorable, c'est-à-dire de mars à juillet et de septembre à décembre, de petits vers circulant en tous sens à proximité de la surface, dans une couche de 7 à 8 cm d'épaisseur. Il s'agit de *Allobophora caliginosa* SAV., *A. chlorotica* SAV. et *A. rosae* SAV., mêlés aux stades juvéniles des grandes espèces. Une espèce plus grande : *Octolasium cyanium* SAV. occupe une zone plus profonde allant jusqu'à 20 cm ; elle vit dans des galeries bien définies, mais temporaires. Les adultes et les grands spécimens de trois autres espèces de forte taille : *Allobophora longa* UDE, *A. nocturna* EVANS et *Lumbricus terrestris* L. se retrouvent dans les couches supérieures mais leurs fortes galeries permanentes s'enfoncent profondément dans le sous-sol : celles des deux premières espèces sont ramifiées et atteignent 45 cm, celles de la dernière est simple mais descend jusqu'à plus de 2 m si la roche mère ou la nappe phréatique ne s'y opposent pas (B. M. GÉRARD, 1963).

Le sol est ainsi continuellement remué, taraudé. La terre passe par le tube digestif de certaines espèces, y est mêlée à des aliments, chargée des sécrétions les plus diverses (minérales, protéiniques et muqueuses (VAN GANSEN, 1963) (*). Elle acquiert ainsi une structure grumeleuse.

(*) M[me] H. HERLANT-MEEWIS a observé que le terreau humide conservé au laboratoire en boîte de pétri est envahi par la moisissure. Il suffit d'y introduire un ver de terre pour prévenir l'envahissement par le cryptogame. Le mécanisme du phénomène n'a pas été défini. L'hypothèse de la présence d'une substance antibiotique secrétée par l'animal n'est pas exclue à priori (déclaration personnelle).

Elle est, en outre, transportée d'un point à un autre, les horizons inférieurs étant ramenés vers la couche supérieure.

Simultanément, les matériaux gisant en surface du sol sont entraînés en profondeur. Les lombriciens et d'autres animaux enfouissent ainsi une masse parfois énorme de débris végétaux et animaux. Ce n'est pas seulement le cas pour les amas de feuilles mortes. On cite encore celui des excrétas du bétail dans les prairies. En Australie, où manquent beaucoup d'animaux intervenant dans ce processus, le développement de l'herbe est entravé par les excrétas s'accumulant dans les pâturages (Kühnelt, 1963). En Hollande, il a été nécessaire de réintroduire des lombriciens dans les vergers où ils avaient été anéantis par les inondations marines : la masse de végétaux mort formait un tapis épais sur le sol, elle disparut après la recolonisation des terres par les vers (Van Rhee et Natharus, 1961).

Voici quelques valeurs permettant, pour les lombriciens, d'apprécier le travail accompli dans le sol.

Les galeries de *L. terrestris* peuvent représenter jusqu'à 67 % du volume de terrain et remplir un rôle primordial dans le drainage et le « turnover » du sol (Satchell).

Dans les vergers anglais enherbés on trouve à l'hectare de 2 à 2,5 t de *L. terrestris*. Ceux-ci enfouissent au cours de l'hiver plus de 90 % des feuilles normalement tombées, ce qui représente 1,25 tonne de poids sec à l'hectare (F. Raw, 1962). Ils emportent simultanément une proportion importante des formes hivernales de la tavelure. Hirst et Stedman (1962), cités par Raw, ont constaté que les feuilles des pommiers disparaissent à des vitesses différentes selon les vergers. Raw a mis le fait en relation avec la population de *L. terrestris*. L'enlèvement des feuilles mortes par les lombriciens est plus complet et plus aisé sur sol nu que sur sol enherbé.

Les lombriciens peuvent constituer, en poids, de 80 à 85 % de la biomasse constituée par l'endofaune du sol (les rongeurs étant exclus), leur poids à l'hectare variant de 500 à 8000 kg, ce qui représente jusqu'à 3 à 5 millions d'individus et même davantage. La quantité de terre consommée annuellement, d'après Satchell, peut être de l'ordre de 6 kg par mètre carré, et, d'après Stöckli (1958), de 12 tonnes par 100.000 individus, soit 120 tonnes pour 1 million d'individus vivant sur 1 hectare. Cette masse de terre serait distribuée dans la proportion de 1/3 dans les galeries et des 2/3 à la surface sous forme de tortillons. Cette proportion peut toutefois fortement varier en fonction des espèces occupant le terrain.

Influence spécifique. Variations locales suivant le milieu.

Graff (1953) a montré combien la répartition des espèces de lombriciens varie selon les situations. Wilcke (1962) a précisé l'influence, parfois très forte, de la fumure organique et minérale. Van Rhee (1963) a constaté que chacune des espèces de lombriciens a un comportement différent. *Lumbricus terrestris* et *Allobophora longa* prélèvent leur nourriture à la surface, ne forment qu'un petit nombre de galeries verticales et rejettent à l'extérieur d'importants tortillons de terre. *L. terrestris* entraîne rapidement les feuilles dans sa galerie, où il les détruit jusqu'aux nervures comprises. Par contre, les petites espèces d'*Allobophora* se tiennent près de la surface et ne consomment que les tissus tendres de la feuille, laissant sur le sol les parties ligneuses.

La faune du sol dans son ensemble, tant pour les Arthropodes que pour les autres animaux, s'avère sensible aux modifications de milieu. Ainsi la fumure minérale et organique agit fortement sur certaines espèces, positivement ou négativement, plus faiblement sur d'autres. Il s'ensuit que non seulement la biomasse qu'elle représente, mais aussi le nombre d'espèces présentes et le rapport des populations constituées par chacune d'elles, sont très variables.

Cette action peut être directe ou indirecte, soit que l'espèce soit sensible à telle transformation, soit que ses possibilités d'alimentation soient réduites ou augmentées par la modification survenue.

D'autres changements peuvent résulter du passage d'un milieu du type anaérobie au type aérobie, ou d'un facteur modifiant le rapport existant entre les espèces prédatrices et saprophytiques. Songeons aux activités souterraines des fourmis qui influencent profondément toute la biocénose.

Difficulté d'apprécier les conséquences de ces modifications.

Il n'est pas toujours facile d'apprécier la portée de la modification survenue, de juger de l'utilité ou de la nuisance de la transformation subie par la structure de l'écosystème.

Cette masse d'animaux vivant dans le sol comprend donc des espèces de toute taille, allant depuis 10 cm jusqu'à une fraction de millimètre, et de tout régime : phytophages, saprophages, prédatrices. En dehors des lombriciens, le nombre de Collemboles, d'Acariens et de Nématodes est surprenant. Ce sont des animaux de taille minuscule qui s'alimentent surtout de tissus végétaux morts, en état d'altération plus ou moins avancé, de mycelium, de bactéries. On y trouve aussi d'actifs

prédateurs. Des larves de Diptères remplissent de même un rôle très important dans la transformation de la matière végétale morte.

Il est malaisé de définir actuellement les conséquences de la disparition de cette faune. Certains attribuent aux microorganismes une action prépondérante dans l'humification du matériel d'origine végétale et animale enfoui dans le sol. D'autres estiment l'intervention de l'animal indispensable au déroulement du processus. Diverses expériences montrent au moins l'accélération de l'évolution de la matière organique sous l'action de la faune.

On sait que les excrétas de Collemboles sont abondants et paraissent jouer un rôle notable dans la formation du sol cultivable. Certains s'attaquent, avec d'autres arthropodes, aux matériaux ayant subi le passage par le tube digestif d'autres espèces animales. Des nématodes se nourrissent de bactéries, d'autres (tel *Aphelenchus avenae*) se multiplient aux dépens de spores et de mycelium de Cryptogames phytopathogènes redoutés, tel celui de *Rhizoctonia* ou de *Pythium*, tandis que des *Penicillium* et autres champignons saprophytes se défendraient à leur égard par une toxine (Mankau *et al.*, 1963). Inversément, des Hyphomycètes destructeurs de Nématodes comporteraient des espèces à croissance rapide mais à vie saprophytique dominante, dont l'action prédatrice serait aléatoire, tandis que d'autres espèces parmi ces Cryptogames édaphiques, à croissance lente, exerceraient sur les Nématodes une action prédatrice efficace en raison de leur possibilité réduite d'existence en régime saprophytique (Cooke, 1963).

Christiansen (1964) s'est attaché à définir le rôle des Collemboles dans le sol, leur nourriture, les causes de mortalité et d'abondance, l'influence des facteurs de milieu. Il semble que la distribution des Cryptogames conditionne celle des Collemboles. Karz (1963) a étudié avec soin le régime alimentaire des Acariens édaphiques et propose sur cette base une classification de ces microarthropodes. Il relève que les Parasitiformes, qui sont d'actifs prédateurs, régressent en présence d'une forte croissance de champignons.

Edwards et Heath (1963) ont apporté récemment la démonstration du rôle actif joué par les microarthropodes du sol dans la désintégration du matériel végétal. Ils ont enfoui à 2,5 cm de profondeur des fragments de feuilles découpées à l'emporte-pièce. Chaque lot était constitué de 50 disques. Il était isolé dans un sachet en voile de nylon, dont la dimension des mailles était choisie pour écarter les animaux d'une taille définie.

Des prélèvements étaient effectués tous les 2 mois pour vérifier l'état du matériel enfoui et rechercher les animaux ayant pénétré par les mailles des filets.

Cette méthode a permis aux auteurs d'étudier en détail l'action de la faune en fonction de la saison, des intempéries, de la climature, de la plante ayant fourni les morceaux de feuilles. Ils ont mis en évidence l'action efficace des lombriciens, des larves de Diptères, des microarthropodes. Par contre, lorsque les lots de feuilles découpées avaient été enfermés dans un tissu dont les mailles ne permettaient que le passage des micro-organismes (0,003 mm), les auteurs ont constaté que les disques sont restés inchangés tout au cours de l'expérience, certains d'entre eux ayant seulement bruni.

Effets des traitements physiques et chimiques

L'équilibre idéal dont rêvent les défenseurs de la nature n'existe évidemment plus dans les terres soumises à une culture intensive. L'homme a bouleversé les données du problème en cultivant des plantes profondément transformées par ses soins, à très fort rendement utile et en excluant pour elles toute concurrence, chaque champ devenant un désert où une seule espèce végétale occupe le terrain. Cette situation tend à s'aggraver par la spécialisation croissante des exploitations agricoles. Cette évolution rend malaisé le respect d'une sage rotation des cultures. Les surfaces réservées à un petit nombre de cultures rentables s'étendent tandis que la place attribuée aux autres plantes régresse sous la pression de l'orientation nouvelle du marché. L'homme crée donc des conditions de milieu favorisant un petit nombre d'espèces animales phytophages, les seules pouvant se maintenir dans une biocénose tellement appauvrie en espèces végétales. Il les délivre de toute compétition avec d'autres espèces animales, il élimine ou rend précaire la survie de la plupart de leurs ennemis et il leur fournit simultanément une énorme quantité de nourriture. Ces quelques espèces favorisées par cette transformation de leurs conditions d'existence deviennent dès lors de véritables fléaux. Il serait surprenant qu'il en soit autrement lorsque l'on constate combien la destruction de la descendance de la plupart des insectes doit atteindre des taux considérables pour empêcher l'augmentation du nombre d'individus au cours des générations successives.

L'homme, dès lors, fait de son mieux pour combattre ces ravageurs et sauver ses récoltes menacées soit dans leur productivité, soit dans leur valeur marchande.

Tuer n'est pas tellement difficile. Il n'est malheureusement pas facile de trouver des moyens de lutte qui combattent l'être nuisible à la plante intéressante pour l'homme tout en respectant les autres organismes vivants. Peut-on dire que les autres organismes détruits sont indifférents, sans importance économique ? Qu'en savons-nous ? Dans ces longues chaînes alimentaires qui vont du tissu végétal vivant à l'humus, quel est le chaînon pouvant être supprimé sans nuire ? Telle plante adventice n'est-elle pas indispensable, par les espèces animales qui lui sont inféodées, à la survie d'insectes auxiliaires qui empêchent la folle prolifération d'un ravageur encore maintenu dans des limites de population supportables ?

Le cultivateur est cependant pressé par la nécessité. Il a recours par besoin à toutes les méthodes de défense que lui offre la technique moderne. Essayons donc de voir où nous en sommes.



L'animal s'attaquant aux organes hypogés de la plante est à juste titre redouté. Il compte parmi les plus nuisibles car il détruit la plantule encore délicate ou il interrompt l'alimentation minérale du végétal en croissance. On l'élimine par le traitement préalable du sol par la chaleur, par la fumigation ou par l'incorporation au substrat de divers pesticides.

Le traitement du sol par la chaleur et par l'injection des liquides émettant rapidement des vapeurs toxiques retiendront spécialement l'attention du phytopathologiste et du nématologiste. Nous ne nous attarderons donc pas à leur sujet sinon pour observer que leur prix de revient élevé réduit fortement les possibilités d'utilisation pratique pour la lutte contre les insectes et les acariens.

Il est des exploitations horticoles intensives où le sol est désinfecté par la chaleur avant d'entreprendre une nouvelle culture. C'est une précaution justifiée par le souci d'éviter le risque d'avoir à combattre un ravageur souterrain en présence de la plante en croissance. Nous manquons d'informations sur l'évolution de la valeur agricole de cette terre après plusieurs années. Il serait étonnant que ses caractéristiques ne soient pas modifiées à la longue. Cette technique offre l'avantage de n'introduire dans le sol aucune matière chimique étrangère : l'opération n'agit donc directement que pendant une période de temps fort courte. Relevons toutefois que la stérilisation de beaucoup de sols par la vapeur suscite une augmentation considérable du taux de manganèse hydrosoluble dans le sol, pouvant devenir toxique pour la tomate. Cet

accident peut être évité par le chaulage du sol. Il y a là un léger inconvénient (READ *et al.* 1961). D'autres fois, le développement végétatif des plantes de tomate est si fort après la longue stérilisation à la vapeur que la formation des feuilles et la fructification des premières grappes florales laissent beaucoup à désirer (BIJLOO *et al.* 1954).

GORING (1962) a publié récemment un important mémoire sur la fumigation du sol. Nous en retiendrons que l'étude théorique des phénomènes intervenant dans la diffusion des vapeurs toxiques dans le sol a fait des progrès considérables, traduits en formules mathématiques. Il en est de même pour l'étude de l'influence des modalités d'application des produits, des répercussions de la nature du sol comme de l'environnement.

La confrontation de la quantité de matière active nécessaire pour tuer les nématodes, les cryptogames, les semences et les insectes souterrains indique qu'elle est fort variable selon la substance expérimentée. Cette quantité est très élevée pour le sulfure de carbone, beaucoup plus faible pour la chloropicrine et le bromure de méthyle, tandis que le 1, 2-dibromoéthane et des composés analogues sont extrêmement toxiques pour les nématodes, un peu moins actifs à l'égard d'insectes du sol et beaucoup moins dangereux pour les Cryptogames et les semences. Ces composés agissent donc de façon différentiée dans une mesure plus ou moins grande sur les divers organismes subissant leurs effets. SEINHORST (1956) a d'ailleurs montré que l'usage des nématocides pouvait entraîner dans certaines conditions non pas la suppression des nématodes, mais l'élimination plus ou moins complète de certaines espèces au profit d'autres.

OOSTENBRINK (1960), tout en contestant qu'il y ait des fluctuations anormales ou périodiques dans les populations de nématodes phytophages à la suite des traitements, indique que la reconstitution des populations primitives se fait en des délais fort différents selon les espèces et les conditions locales.

Nous retrouvons d'ailleurs un phénomène similaire par l'incorporation au sol de certains fongicides, tel le nabam, qui aggraverait l'infestation par les Nématodes, peut-être par suite de son action sur les Cryptogames prédateurs d'anguillules (D. TYSON in MARTIN 1961).

Quoi qu'il en soit, la fumigation n'agit ainsi que temporairement. Les vapeurs diffusent, disparaissent plus ou moins rapidement. Elles laissent toutefois derrière elles une situation modifiée. Les chances de survie des divers organismes ne sont pas égales. Le phénomène s'étend jusqu'aux bactéries dont certaines s'avèrent très actives après l'opération.

Evans (*in* Martin 1961) observe en outre dans le cas du traitement au formol une augmentation de la teneur du sol en ammoniaque. D'autres faits similaires sont décrits. Des conditions de nutrition nouvelles sont donc créées pour la flore et la faune.

Dans une thèse récemment défendue, de Vries (1962) expose les faits observés 15 mois après l'application dans le sol de divers pesticides, dont plusieurs fumigants (bromure de méthyle, Vapam, Nemagon, etc.) utilisés à la dose normale et par quantités deux et quatre fois plus élevées. Il cite plusieurs conséquences nettement accusées telles que, selon les produits expérimentés : la forte diminution de champignons, la stimulation d'Ascomycètes, l'extermination immédiate des lombriciens et d'autres animaux, l'entrave à la formation de mycorhizes, la diminution de l'absorption pour l'azote, le phosphore, le calcium, le magnésium et la soude chez le pin et chez l'aulne.

Gunther et Jeppson (1960) révèlent que l'application de fumigants dans le sol peut relever temporairement la concentration de substances nutritives solubles : ils citent l'accroissement en acide phosphorique soluble en présence d'oxyde d'éthylène. Les bactéries nitrifiantes sont sensibles à la plupart des fumigants et elles peuvent être lentes à récupérer l'activité manifestée antérieurement. Les produits organochlorés, ainsi que les composés à base de métaux du type cuivre et mercure, peuvent laisser des produits de transformation ou des résidus nuisibles à certains plants. Ainsi l'ail, les oignons, les pommes de terre, les porte-greffes, les patates douces croissent souvent misérablement après la fumigation faite avec un composé organo-bromé.

L'action directe de la fumigation est donc brève mais elle modifie le milieu, ne fut-ce que temporairement.



Le principal progrès accompli depuis la deuxième guerre mondiale dans la lutte contre les ravageurs souterrains réside cependant avant tout dans la découverte des insecticides de synthèse organo-chlorés et organo-phosphorés. Il a permis d'élaborer des techniques de lutte nouvelles, efficaces et d'un prix de revient modéré, dont l'usage a été largement popularisé.

Les informations relatives à l'emploi de ces produits et à leur efficacité à l'égard des divers ravageurs sont des plus abondantes, dans toutes les langues. Leurs qualités, leurs supériorités respectives, le bénéfice immédiat à tirer de leur usage sont proclamés par les multiples voies de la propagande.

Les études portant non pas sur la destruction d'espèces nuisibles mais bien sur les effets subsidiaires à courte et lointaine échéance sont beaucoup moins nombreuses et plus discrètes. Beaucoup de lacunes existent encore dans nos connaissances à ce sujet mais les renseignements obtenus permettent de porter un premier jugement d'ensemble sur ces techniques.



Les entomologistes américains ont été parmi les premiers à s'inquiéter des effets possibles de l'accumulation des pesticides dans le sol. Boswell (1952) rappelle que des symptômes de dégâts dus à l'accumulation de l'arséniate de plomb dans le sol de vergers de pommier ont été relevés au Colorado dès 1908. Le même phénomène a été ensuite observé dans d'autres régions des États-Unis. En 1930, lors de la grande dépression, lorsque les vergers les moins productifs de l'État de Washington ont été reconvertis en terres à culture, il a été constaté que la luzerne et les haricots mouraient souvent par suite de la teneur excessive en arsenic de la parcelle ou des terres voisines. Des cultures maraîchères établies à la place de ces anciens vergers ayant subi des traitements intensifs pendant des années, aucune n'était vraiment satisfaisante et plusieurs échouaient. Plusieurs années après l'enlèvement des arbres, le seigle et la pomme de terre croissaient assez bien, mais les haricots et les pois témoignaient encore d'une grande sensibilité à l'intoxication arsénicale. Les tomates, les asperges et la vigne manifestaient à cette même époque d'une sensibilité intermédiaire à l'insecticide mais ces plantes croissaient difficilement là où l'exploitation du verger avait été récemment interrompue. De sérieuses différences de sensibilité furent aussi relevées à cette occasion entre diverses variétés de la même espèce végétale et selon que les racines exploraient la couche superficielle du sol ou non.

L'étude de ce type d'accident a mis en évidence l'intervention de nombreux facteurs, inhérents les uns à la nature du sol, les autres à l'intensité des traitements phytosanitaires, à la climature locale, aux plantes cultivées, etc..., qui rendaient la situation plus ou moins critique. L'essentiel reposait sur l'accumulation progressive d'énormes quantités d'arsenic au pied des plantes traitées.

L'invention d'insecticides de synthèse aussi persistants que le DDT et quelques autres a fait réapparaître le problème. Il a été constaté d'ailleurs que les quantités de matières actives introduites volontairement dans la terre arable pour y détruire quelques ravageurs ne sont pas

nécessairement plus élevées que celles retrouvées dans le sol après leur utilisation par application sur le feuillage de certaines plantes au cours de la saison. VAN DER DRIFT (1063) cite les valeurs suivantes : pour la lutte contre les larves d'Elatérides, de 1 à 10 kg de matière active à l'hectare, soit, répartie sur 10 cm de profondeur, de 1 à 10 mg par litre de sol. Des quantités similaires résultent de traitements effectués sur le feuillage, les substances entraînées par les pluies étant cependant retenues davantage en surface du terrain dans des limites dépendant du genre de formulation utilisée.

Ces substances peuvent-elles par elles-mêmes contrarier le développement normal de la végétation ? On connaît l'effet phytocide d'un excès de lindane. L'action nocive des autres pesticides n'est pas toujours aisée à mettre en évidence car il s'agit souvent de faits vagues pouvant être attribués à d'autres facteurs : mauvaise germination, développement radiculaire défectueux, manque de poils absorbants, plantes moins vigoureuses. Des effets indésirables du DDT sur la végétation ont été relevés. Toutefois les expériences ont été souvent effectuées avec des doses anormalement élevées afin d'accuser l'action dépressive du produit. Citons toutefois comme plantes s'étant révélées sensibles au DDT : certaines légumineuses, l'épinard, la betterave, la tomate, les Cucurbitacées, le pêcher et le fraisier, ainsi que certaines variétés de seigle. Notons qu'il a suffi de 4 années de traitement au DDT dans un verger américain de pêchers pour entraver sérieusement la culture du seigle var. « Abruzzi » en couverture d'hiver, que le dépôt de DDT sur le sol après des applications normales sur le feuillage de fraisiers a empêché l'enracinement des stolons. (BOSWELL 1952).

La phytotoxicité de l'aldrin et de la dieldrin paraît par contre très faible et ne constitue pas un danger, semble-t-il. Quant au parathion, il agit défavorablement sur les haricots princesses et les Cucurbitacées plantés peu après son application dans le sol (BOSWELL 1952). Divers nouveaux insecticides organo-phosphorés utilisés en traitement du sol ont de même entravé la levée ou contrarié la croissance normale de plantes maraîchères, tout au moins dans certaines terres canadiennes (FINLAYSON 1963). D'autres ont favorisé les dégâts occasionnés par le *Rhizoctonia*, ce qui est attribué à une action dépressive sur la plante (READ 1963) (*).

(*) Les attaques de *Ditylenchus dipsaci* sur les plantules de betterave lors de la levée ont été découvertes ces toutes dernières années en Belgique, alors que cette culture est étroitement surveillée par des spécialistes. Elles ont été observées d'emblée dans de nombreux champs

Cette question soulève le problème de la persistance de ces diverses matières actives dans le sol. GUNTHER et JEPPSON (1960) donnent quelques chiffres concernant les quantités d'insecticides appliquées annuellement dans des cultures établies en terrain sablo-argileux et limoneux et celles qui ont été retrouvées par l'analyse du sol. Les rapports obtenus sont très variables pour le DDT. On peut conclure actuellement que les préparations organo-phosphorées ne sont guère persistantes par opposition aux organo-chlorés. Parmi ceux-ci le lindane s'élimine progressivement, quoiqu'il puisse dans certains cas persister en quantité efficace au point de vue insecticide pendant 2 à 3 ans. Par contre, la réduction du DDT est très lente tandis que celle de l'aldrin et de la dieldrin occupe une position intermédiaire (BOSWELL 1952, TINKHAM 1955, GUNTHER et JAPPSON 1960, MARTIN 1961, VAN DER DRIFT 1963).

La quantité de matière active appliquée semble influencer cependant ce phénomène de régression car OATMAN (1964) vient de démontrer la persistance de l'effet insecticide de l'endrin pendant 5 ans, celle de la dieldrin pendant 4 ans, de l'heptachlor et de l'aldrin pendant 1 an, lorsque ces produits sont introduits à forte doses le sol en vue de détruise des Trypétides. Auparavant, LICHTENSTEIN (1957 et LICHTENSTEIN et POLVIKA (1954) avaient fait des constatations analogues au sujet du DDT et d'autres insecticides chlorés (in VAN DER DRIFT 1963).



L'effet direct des divers pesticides organo-chlorés sur la faune endogée paraît en général temporaire. SHEALS (1956), comme EDWARDS et DENNIS (1960) ont constaté une augmentation caractéristique du nombre de Collemboles après l'application de DDT, accompagnée d'une réduction correspondante des Acariens prédateurs du groupe des Mesostigmata. Les deux derniers chercheurs notent en outre que l'aldrin appliqué en terre arable a abaissé le nombre de Collemboles à un taux fort bas tout en réduisant de façon significative le nombre d'Acariens. VAN DEN DRIFT (1963) constate aussi l'effet toxique sur les microarthro-

distribués sur un vaste territoire. Elles sont peut-être imputables à un phénomène analogue. L'hypothèse d'une modification temporaire, sous l'effet de certains herbicides, de la physiologie de la plante cultivée, provoquant la perte de ses moyens de défense normaux à l'égard de l'anguillule à une période critique de son existence, n'est pas déraisonnable à priori. Il en est peut-être de même pour les nombreux cas d'infestation de l'avoine par *D. dispaci* relevés au cours de la même période récente dans des terres lourdes (dont celles de Gembloux) où le fait était ignoré antérieurement.

podes et il rappelle les expériences de BARING (1957) montrant la spécificité d'action de ces substances sur cette faune. KÜHNELT (1963) observe qu'il existe une tendance marquée à la réduction des formes prédatrices de microarthropodes après l'application des pesticides car, même si la proie phytophage a été également détruite par le traitement, la résistance comme le potentiel de reproduction des formes non prédatrices sont supérieurs. Il renvoie à ce sujet aux observations de BARING (1957), de BAUDISSIN (1952), de WEBER (1953), d'EDWARDS ET DENNIS (1960) et HARTENSTEIN (1960). Les Collemboles seraient tuées par les composés organophosphorés, mais la faible rémanence de ceux-ci leur permettrait en général de réapparaître après 2 mois dans les parcelles traitées (*). Ils seraient résistants au DDT qui tend, en cas d'application répétée, à accroître leur nombre considérablement tandis qu'ils se raréfieraient en présence de Krillium (CHRISTIANSEN 1964). VAN DER DRIFT (1963) comme CHRISTIANSEN (1964) attribuent peu d'effet aux herbicides sur l'endofaune. Observons que certains expériences de LOUNSKY (Gembloux) contredisent cette conclusion, des applications de simazine et de CMU en verger ayant entraîné dans certaines conditions répondant à des traitements justifiables la dépression durable de la population en Acariens et en Collemboles. Le fait est à rapprocher de l'absence de décomposition des herbicides en sol stérile (VAN DEN DRIFT, 1963). L'altération par un traitement quelconque de l'activité microbienne du sol pourrait peut-être intervenir dans ce cas.

Par ailleurs, l'action des pesticides ne se limite pas aux microarthropodes. DE VRIES (1962) constate après 15 mois que le Sevin a stimulé les actinomycètes du sol. BRAKEL (1963), par des expériences en laboratoire, a montré que les *Rhizobium* manifestent de la sensibilité à l'égard de certains pesticides. Parmi les insecticides utilisés, le lindane s'est avéré actif tandis que l'aldrin et le parathion l'ont été nettement moins. Il est intéressant de noter que les *Rhizobium* du trèfle se sont montrés très sensibles, ceux de la luzerne résistants et même stimulés, ceux du pois et du haricot occupant une position intermédiaire. Des souches de

(*) Les expériences décrites portent en général sur des parcelles de petites dimensions, ce qui facilite la réoccupation du terrain par la faune des alentours. Le traitement effectué sur de grandes surfaces peut soit anéantir une population, soit la refouler vers des horizons plus profonds. Les substances toxiques facilement éliminées ne s'opposent pas au retour des espèces sensibles si ces dernières subsistent encore dans le voisinage. Les informations quant aux effets secondaires des applications de pesticides effectuées sur de grandes étendues font encore trop souvent défaut.

même nature mais d'origine différente n'ont pas toujours la même sensibilité au même traitement. L'expérience avait été entreprise à la suite de la découverte dans la région de Gembloux de l'absence quasi générale de nodulation chez le haricot.

Cependant, tandis qu'il est difficile d'apprécier sur la base de la documentation existante l'effet à longue échéance des perturbations apportées dans la mesofaune du sol par l'applicaion des pesticides, les données les plus divergentes concernent l'effet de plusieurs insecticides sur les vers de terre. Ces lombriciens manifestent à première vue une réelle résistance, voire de l'indifférence à l'égard des organo-chlorés et même d'organo-phosphorés. HOPKINS (1957) et VAN DER DRIFT (1963) avancent encore des arguments dans ce sens. DOANE (1962), après avoir rappelé qu'en 1946 et 1958 BAKER avait montré que les quantités modérées de DDT subsistant sur les feuilles mortes suffisaient pour permettre aux vers de terre d'accumuler des quantités importantes de cette substance dans leur corps, a démontré par d'intéressantes expériences, menées en plein air : 1°) que les lombriciens accumulent effectivement des quantités considérables de DDT dans leurs tissus (*), 2°) que leur survie en présence de quantités modérées de DDT n'est apparemment pas affectée, tandis que l'animal disparaît en un an après l'application de dieldrin et de chlordane. VAN RHEE (1963) montre de son côté l'effet désastreux des traitements cupriques pour la survie des lombriciens, fait ayant été relevé précédemment en Angleterre par RAW (1962) et en Hollande par VAN RHEE et NATHANS (1961). Notons enfin que le Sevin s'est avéré extrêmement toxique pour les vers de terre (AN DER LAN et ASPÖCK (1962). Quant aux produits utilisés dans les vergers lors des traitements d'hiver (carbolineum, composés nitrés, etc...) leur effet destructeur est discuté car il est influencé par de nombreux facteurs (sol humide ou sec lors du traitement, sol léger ou lourd, date et heure d'application, conditions climatiques avant et après l'opération, espèce de lombicien, etc...) (SPEYER, 1927, NOLTE 1940, RUSS 1957, VAN DER DRIFT 1963 in BAUER 1964).

VAN DER DRIFT (1963) fait observer que les insecticides de synthèse sont aussi en partie adsorbés dans le sol et pourraient être de ce fait inactivés. Il cite à l'appui de cette thèse la différence obtenue dans le

(*) Ce qui a pour effet d'introduire cette substance indésirable dans les tissus des animaux qui s'en nourrissent. Les oiseaux, d'après plusieurs chercheurs, seraient spécialement sensibles à ce type d'intoxication par la chaine alimentaire.

dosage de certaines préparations insecticides dans le sol par microbioessais, au moyen de la Drosophile, et par analyse chimique. Reprenant les données de LICHTENSTEIN et POLIVKA, il cite le cas de HCH dont la valeur exprimée par sa toxicité n'aurait représenté que 19,5 % de celle correspondant à la quantité fournie par l'analyse chimique, le chlordane ayant fourni de façon similaire une réponse au taux de 65 %.

Ce fait, s'il est confirmé, me paraît indésirable. Il n'y a aucun intérêt à introduire dans le sol des insecticides persistant longtemps sans avoir à coup sûr une efficacité parfaite. Ils créent les conditions idéales pour faire surgir le phénomène de résistance parmi les insectes nuisibles.

L'étude du phénomène de la résistance retient pour le moment toute l'attention des services officiels canadiens. Dans certaines localités, la Mouche de l'Oignon (*Hylemyia antiqua*) manifeste à l'égard de la dieldrni une résistance accrue de 240 fois pour les femelles et 380 fois pour les mâles. Dans les localités où survient le phénomène, une proportion allant jusqu'à 90 % de la population d'Anthomyides se révèle homozygote quant au caractère de résistance (TOWGOOD et BROWN, 1963). Récemment, le phénomène de résistance à l'égard des organochlorés est apparu en Hollande pour la Mouche de la Carotte (*Psila rosae*) (VAN 'T SANT et FRERIKS, 1963), et à Malines pour la Mouche du Chou (*Hylemyia brassicae*) (Insp. VERCAMMEN - communication verbale, 1963).

C'est donc là un phénomène avec lequel il faut compter sérieusement.

Il en résulte que les services de recherche agronomique canadiens procèdent systématiquement à des expériences portant sur la substitution d'insecticides organo-phosphorés aux insecticides organo-chlorés, spécialement pour la lutte contre les Anthomyides. Leurs efforts sont couronnés de succès. Ces insecticides sont distribués dans la ligne lors du semis. Les granulés conviennent fort bien à cet effet.

Rappelons enfin que l'accumulation de pesticides persistant dans le sol a le grave inconvénient de charger sans utilité certains produits agricoles de traces indésirables de substances toxiques.

Conclusions

Il n'est évidemment pas question de rejeter l'utilisation des pesticides. Ces produits constituent des armes d'une haute efficacité, permettant d'augmenter la productivité des terres dans des proportions considérables. On ne pourrait concevoir de cultiver encore sans tirer pleinement profit des merveilleux progrès accomplis au cours de ces dernières années par la technique.

Il est toutefois souhaitable que l'emploi des pesticides soit limité au strict nécessaire.

Il faut savoir si on vise uniquement un bénéfice immédiat, une exploitation spoliatrice susceptible d'hypothéquer peut-être l'avenir du domaine, ou si l'on choisit d'entretenir un bien-fonds pour lui conserver toute sa valeur productive au cours des temps. Il est aussi des hommes qui se droguent sous tout prétexte, victimes d'une tendance fâcheuse et des effets pernicieux de la publicité. Faut-il les prendre comme modèles du fait qu'ils survivent à l'absorption de tous ces produits chimiques ? N'en est-il pas qui compromettent ainsi définitivement leur état de santé ?

Martin (1961) déclare qu'en Angleterre, d'après une enquête officielle, un quart des champs de pommes de terre est traité à l'aldrin contre les Elatérides alors que moins de 5 % des terres consacrées à cette culture le justifie. Il serait hautement souhaitable de n'user de ces produits qu'en cas de nécessité.

Il faut donc développer l'application des techniques permettant d'apprécier le niveau dangereux des populations d'insectes nuisibles en vue d'encourager, à l'image de la Suisse, l'emploi de systèmes de prognose permettant de juger de l'opportunité de l'intervention.

Il faut ensuite limiter autant que possible la quantité de matière active appliquée dans le sol. A ce propos, la distribution de l'insecticide dans la ligne ou, à la rigueur, le traitement directe de la semence, est à préférer à l'épandage en surface. Il serait utile, je pense, d'avoir recours à cette fin aux insecticides granulés, largement en usage aux États-Unis et au Canada depuis 10 ans.

Il faut enfin choisir judicieusement l'insecticide. Il ne doit pas avoir une demi-vie excessive. C'est pourquoi il y a lieu de se méfier des organo-chlorés et d'accorder résolument la préférence aux organophosphorés.

Enfin, songeons aux techniques de lutte biologique. Il y a grande nécessité à respecter les principes de la lutte intégrée.

Nous connaissons maintenant le résultat de la lutte entreprise méthodiquement aux États-Unis contre le petit Hanneton japonais : *Popillia japonica* Newm. par la distribution dans le sol des germes bactériens de la « Milky disease ». L'animal n'a pas disparu, mais il ne pose plus de graves problèmes, il n'est plus une calamité publique (R. L. Beard, 1962). D'autres biopréparations existent ou sont à l'étude.

Cherchons à utiliser autant que possible des préparations à action précise, pouvant être dirigées, plutôt que de grands poisons généraux agissant aveuglément. Si nous devons intervenir, faisons-le après mûre

réflexion et évitons de répéter l'opération à intervalles rapprochés. Laissons au sol le temps de retrouver ses propriétés normales.

Et songeons-y. Ce n'est pas parce que la nocivité d'une méthode de lutte n'apparaît pas immédiatement que cette dernière soit sans inconvénient. Méfions nous. Les effets de nos entreprises ne se font parfois sentir qu'à la longue, avec retard et de façon mal définie, ce qui nous empêche souvent de remonter aisément à la source du mal. Ainsi, convenons de notre ignorance sur tant de points et adoptons ce principe excellent : *Profitons pleinement des progrès de la science pour protéger nos cultures contre leurs ennemis, tirons avantage de cette arme excellente que nous offre l'industrie : les pesticides.* Mais soyons prudents. Rappelons-nous *qu'il n'y a pas dans la nature d'organismes inutiles, mais qu'il en existe énormément dont nous ne distinguons pas encore le rôle dans le cycle de la matière vivante.* C'est pourquoi respectons la vie dans toute la mesure du possible, efforçons-nous de tirer parti au maximum des forces naturelles se trouvant encore à notre disposition.

RÉFÉRENCES

AN DER LAN, H. und ASPÖCK, H. (1962), Zur Wirkung von Sevin auf Regenwürmer. *Anz. für Schädlingsk.*, XXXV (12), 180-182.

BARING, H. H. (1956). Die Wirkung insektiziden Ganzflächenbehandlung auf die Mesofauna des Ackerbodens. *Mitt. biol. Bundesanstalt Land- und Forstwirtschaft*, 85, 60-65.

BARING, H. H. (1956), Die Milbenfauna eines Ackerbodens und ihr Beeinflüssung durch Pflanzenschutzmittel. *Z. für angew. Ent.*, 39, 410-444.

BAUDISSIN, F. (1952), Die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Collembolen und Milben in verschiedene Böden. *Zool. Jahrb. Systematik Ökol. und Geograph. Tiere*, 81, 47-90.

BAUER, Karl (1964), Studien über Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Bodenfauna, *Mitt. Biol. Bundesamt*, Berlin-Dahlem. pp. 112.

BEARD, R. L. (1962), Present status of « milky disease » in Connecticut. *Coll. intern. Pathol. Insectes et Lutte biologique*, Paris, octobre 1962.

BIJLOO, J. D., BRAVENBOER, L. en OOSTENBRINK, M. (1954), Grondontsmetting bij de tomatenteelt der bestrijding van het aardappelcystenaaltje. *Meded. Directeur v. d. Tuinbouw*, 17 : 804-810.

BOSWELL, Victor R. (1952), Residues, soils and plants. *The Yearbook of Agriculture*. U.S. Depart. Agric. Washington, D.C., pp. 284-297.

BRAKEL, J. (1963), Action sur le Rhizobium de divers fongicides et insecticides commerciaux. *Ann. Institut Pasteur*, T. 105, pp. 143-149.

CHRISTIANSEN, Kenneth (1964), Bionomics of Collembola. *Ann. Rev. Entomol.*, 9, pp. 147-178.

COOKE, C. Roderic (1963), Ecological characteristics of Nematodes - trapping Hyphomycètes 1) Preliminary Studies. *Ann. appl. Biol.*, 52 (3), 431-437.

de Vries, M. L. (1962), Effect of biocides on biological and chemical factors of soil fertility. *Abstr. of thesis*, in *Dissert. Abstr.* 23 (4) (1145-6).

Doane, Charles C. (1962). Effect of certain insecticides on Earthworms. *J. Econ. Entomol.*, 55 (3), 416-418.

Dunger, W. (1958), Uber die Veränderung des Fallaubes im Darm von Bodentieren. *Z. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 82, pp. 174-193.

Edwards, C. A. and Heath, G. W., (1963), The role of soil animals in breakdown of leaf material. *Soil organisms*, Edit. J. Doeksen - J. van der Drift Amsterdam pp. 76-84.

Finlayson, D. G. (1963), Description d'expériences de lutte contre *Hylemyia floralis* Fall sur rutabaga, dans : *Pest Research Report*, Ottawa, pp. 85-87.

Gerard, B. M. (1963), The activities of some species of Lumbricidae in pastureland. *Soil organisms.*, pp. 49-54.

Goring, C. A. I. (1962), Theory and principles of soil fumigation. *Advances in pest control research*, Vol. V, pp. 47-84.

Graff, O. (1953), Bodenzoologische Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der terricolen Oligochaeten. *Z. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 61-62, pp. 72-77.

Gunther, F. A. and Jeppson, L. R. (1960), *Modern insecticides and world food production*. London - Ed. Chapman & Hall.

Hartenstein, R. C. (1960), The effects of DDT and Malathion upon forest soil microarthropods. *J. econ. Entom.*, 53 (3), 357-362.

Hopkins, A. R. (1957), Effect of several insecticides on the English Red Worm. *J. Econ. Entomol.*, 50 (5), 699-700.

Karg, Wolfgang (1963), Die edaphische Acarina in ihre Beziehungen zur Mikroflora und ihre Eingang als anzeiger für Prozesse der Bodenbildung. *Soil organisms*, pp. 304-315.

Kühnelt, W. (1963), Soil inhabiting Arthropoda. *Ann. Rev. Entomol.*, 8, pp. 115-137.

Mankau Reinhold and Mankau Sarojan K. (1963), The role of mycophagus nematodes in the soil - 1 - The relationship of *Aphelenchus avenae* to phytopathogenic soil fungi. *Soil organisms.* pp. 271-280.

Martin, Hubert (1961), Insecticides, fungicides and the soil. *Proceedings of the British Insecticides and Fungicide Conference*, Brighton, pp. 41-46.

Oatmen, E. R. (1964), Residual effectiveness of endrin as a soil insecticide for control of the apple maggot in Wisconsin. *Jl. econ. Entom.*, 57 (1), 163-164.

Oostenbrink, M. (1954), Over de betekenis van vrijlevende Wortelaaltjes in Land- en Tuinbouw. *Versl. en Meded. Plantenziektenkundige Dienst.* Wageningen.

Oostenbrink, M. (1960), Population dynamics in relation to cropping, manuring and soil Desinfection. *Nematology*. Univ. North Carolina Press., Chapel Hill (chapt. 49).

Raw, F. (1962), Studies of earthworm populations in orchards. I. Leaf burial in apple orchard. *Ann. appl. Biol.*, 50, 389-404.

Read, D. C. (1963), Description d'expériences de lutte contre *Hylemya brassicae* Bouche sur rutabaga. *Pest Research Report*, Ottawa, pp. 79-83.

Read, W. H., Hughes, J. T. and Smith, R. J. (1961), Some recent investigagions with chemical soil sterilisants. *Proc. British Insecticide and Fungicide Conference*, pp. 361-369.

SEINHORST, J. W., BIJLOO, J. D. en KLINKENBERG, C. H. (1956), Een vergelijking van de nematicide werking van DD en van 3-5 dimethyltetrahydro - 1-3-5-2- H - thiadiazine - 2 - thion. *Meded. van de Landbouwhogeschool en de Opzoekingsstations van de Staat te Gent*, XXI (3) : 387-396.

SHEALS, J. B. (1956), Soil population studies I. The effects of cultivation and treatment with insecticides. *Bull. Ent. Res.*, 47 (4), 803-822.

STOCKLI, A. (1958), Die Regenwurmarten in landwirtschaftlich genützten Boden des schweizerischen Mittellandes. *Landwirtschaftl. Jahrb. Schweiz*, 7, 699.

TINKHAM, E. R. (1955), A note on longevity of soil larvicides. *Soil Zool. Proc. Univ. Nottingham*, 1, 253-255.

TOWGOOD, J. B. et BROWN, A. W. A. (1963), Étude sur la résistance. *Pest Research Report*, p. 175.

VAN DER DRIFT, J. (1963), De invloed van biociden op de bodemfauna. *Neth. J. Plant Path.* 69 : 188-199.

VAN GANSEN, P. (1963), Structures et fonctions du tube digestif du lombricien *Eisenia foetida* SAVIGNY. *Ann. Soc. R. Zool. de Belgique*, 93 (1), pp. 9-19.

VAN RHEE, J. A. en NATHANS, S. (1961), Waarnemingen bij regenwormpopulaties in boomgaarden. *Meded. Dir. Tuinb.*, J. G. 24, n° 4, 234-240. 's Gravenhage.

VAN 'T SANT, L. E. en FRERIKS, J. C. (1963), De Bestrijding van de wortelvlieg na gebleken resistentie tegen chloreerde koolwaterstoffen. *Meded. Dir. Tuinbouw*, XXVI (6), 359-362.

WEBER, Gisela (1953), Die makrofauna leichter und schwerer Ackerböden und ihre Beeinflusseng durch Pflanzenschutzmittel. *Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 61 (106), 107-118.

WILCKE, D. E. (1962), Untersuchungen über die Einwirkung von Stallmist und Mineraldüngung auf den Besatz und die Leistungen der Regenwürmer im Ackerboden. *Monographien zur angew. Entomologie.* N° 18. Edit. Paul Parey, Hambourg.